

## Rzeźba Rudaw Janowickich i Kotliny Kamiennogórskiej w świetle danych z cyfrowego modelu terenu i badań terenowych

Artur Sobczyk\*

Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, ul. Cybulskiego 32, 50-205 Wrocław

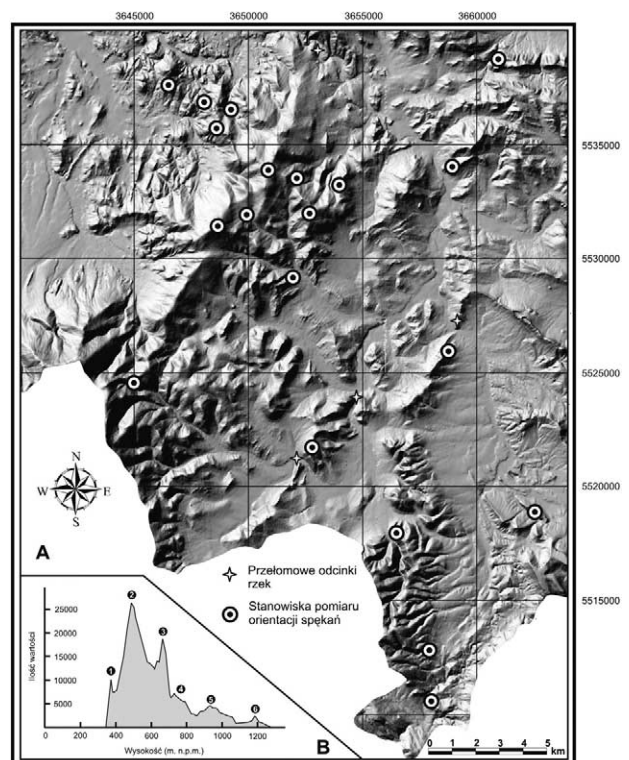
### Wprowadzenie

Cyfrowe modele elewacji (DEM) oraz cyfrowe modele terenu (DTM) stanowią szeroko wykorzystywane w geomorfologii źródło danych, dając ich użytkownikom szerokie możliwości analityczne przy zastosowaniu programów z rodziny GIS (por. Wood 1996, Kühni, Pfiffner 2001, Jordan 2003). Przeniesienie danych do układu trójwymiarowego pozwala na plastyczną wizualizację rzeźby, a dzięki zastosowaniu dodatkowych warstw tematycznych nakładanych na model uzyskujemy znacznie szerszą informację o badanym obszarze (Badura, Przybylski 2005). W badaniach geomorfologicznych znajdują one zastosowanie w analizie morfometrycznej stoków i zlewni (Lin, Oguchi 2004), elementów tektonicznych manifestujących się w rzeźbie (Jordan i in. 2004) czy też określania rozmiarów erozji i denudacji (DeRose i in. 1998). W niniejszym opracowaniu zostały zaprezentowane efekty analizy autorskiego cyfrowego modelu terenu przygotowanego dla fragmentu Sudetów Zachodnich i Środkowych.

### Geologia i geomorfologia obszaru badań

Obszar objęty badaniami zlokalizowany jest w obrębie pasma górskiego Rudaw Janowickich, zajmujących centralną pozycję Kotliny Kamiennogórskiej oraz zamykających od wschodu kulminacje Gór Kruczych i Zaworów (ryc. 1). Pasma Rudaw Janowickich ma przebieg zbliżony do południkowego, tworząc długi na około 25 km grzbiet i zajmując po-

wierzchnię ok. 90 km<sup>2</sup> (Staffa i in. 1998). Charakterystyczny południkowy układ podkreślał już Mroczkowski (1992), wiążąc ten kierunek z obecnością głębokiej strefy rozłamu tektonicznego. W budowie geologicznej Rudaw można wyróżnić dwa



Ryc. 1. A: Cyfrowy model terenu obszaru badań z zaznaczonymi miejscami pomiaru orientacji spekań. B: Histogram częstości wysokości, cyframi 1–6 wyróżniono kulminacje reprezentujące najbardziej typowe poziomy hipsometryczne

\* e-mail: artur.sobczyk@ing.uni.wroc.pl

odmienne elementy: fragment masywu granitowego Karkonoszy w zachodniej części pasma oraz zespół jednostek metamorficznych – w części wschodniej (Mazur 1995). Cały obszar pocięty jest licznymi uskokami, spośród których najwybitniejszy jest uskok śródsudecki, wyznaczający granicę między Rudawami Janowickimi a Górami Kaczawskimi (Aleksandrowski 2003). Kotlina Kamiennogórska stanowi rozległe obniżenie śródgórskie, w którym na powierzchni odsłaniają się skały osadowe i wulkaniczne karbonu, permu, triasu i kredy (Don i in. 1979, Mastalerz i in. 1994). Występują również plejstocenijskie osady polodowcowe oraz holocenijskie utwory rzeczne.

W rzeźbie obszaru badań zauważalna jest obecność kilku charakterystycznych horyzontów morfologicznych, których obecność wskazuje na nierównomierny wielofazowy rozwój. Charakterystyczne jest występowanie licznych form skałkowych wykształconych w obrębie różnych litologii. Szczególne ich nagromadzenie obserwowane jest w strefie występowania granitu karkonoskiego w przedziale hipsometrycznym 600–800 m. Tworzą one różnorodne pod względem kształtu ostańce skalne o maksymalnej wysokości dochodzącej do 65 m na obszarze Gór Sokolich (por. Wajda, Sobczyk 2007). Geneza skałek w strefie intruzji granitowej została opisana przez Jahna (1962) jako proces dwuetapowego wietrzenia i odpreparowywania podłoża granitowego. Na kopułowy charakter wzgórz przylegających do Kotliny Jeleniogórskiej wskazuje Migoń (1997).

Pozostałe ostańce skałkowe w strefie występowania utworów metamorficznych, zlepieńców kulmowych oraz piaskowców i wulkanitów permu, triasu i kredy tworzą mniej spektakularne formy, a strefy ich występowania są związane głównie z kontaktami litologicznymi oraz strefami intensywnej erozji rzecznej. We współczesnych opracowaniach podkreślany jest peryglacialny charakter rzeźby masywu Rudaw Janowickich (Traczyk 2004) na podstawie badań pokryw blokowych Skalnika (945 m). Obszar Kotliny Kamiennogórskiej był w plejstocenie częściowo zlodowacony, przy czym zasięg zlodowacenia i charakter deglacji wciąż wymagają wyjaśnienia (por. Traczyk 2004).

## Materiał i metody pracy

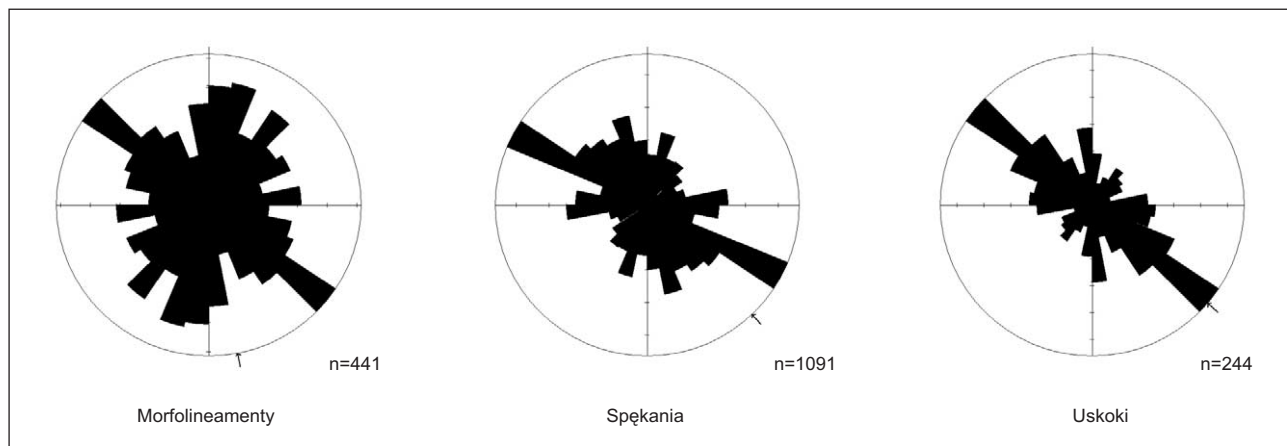
Za zbiór danych wejściowych, które posłużyły do przeprowadzenia analizy rzeźby obszaru badań posłużył cyfrowy model terenu przygotowany przez autora w oparciu o obrazy rastrowe mapy topograficznej Polski w skali 1:10 000 w układzie 1965. Model ten został wykonany we współpracy z Pracownią Kartografii Geologicznej i Geologii Regionalnej Oddziału Dolnośląskiego Państwowego Instytutu Geo-

logicznego. Półautomatyczna wektoryzacja poziomic oraz sieci rzecznej pozwoliła na uzyskanie zbioru danych typu XYZ, które następnie zostały przetworzone w oparciu o oprogramowanie Surfer firmy Golden Software z zastosowaniem algorytmu interpolacyjnego krigging (wariogram liniowy). Uzyskany model charakteryzuje się wysoką rozdzielczością (8×8 m), umożliwiając szczegółową analizę geomorfometryczną. Przeprowadzono również wektoryzację danych hydrograficznych w oparciu o mapy hydrograficzne Polski w skali 1:50 000 oraz mapy topograficzne Polski 1:10 000 (PUWG 1965). Następnie wykonana została integracja obrazu DEM z geologiczną warstwą tematyczną reprezentowaną przez dane z 10 arkuszy Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów w skali 1:25 000. Zintegrowano również warstwę zawierającą dane hydrologiczne w celu uzyskania pełnego zestawu danych. W oparciu o otrzymany model wykonana została mapa zagęszczonych poziomic (por. Badura, Przybylski 1999), która umożliwia identyfikację struktur liniowych w postaci morfolineamentów. Odzwierciedlają one nagłą zmianę gradientu wysokości, który może mieć różne implikacje genetyczne.

## Prezentacja wyników

Interpretacja zintegrowanego DEM wskazuje, że rzeźba obszaru badań jest silnie uzależniona od budowy geologicznej, w tym litologii podłoża i przecinających go liniowych nieciągłości. Zaznacza się w niej wyraźne zróżnicowanie układu sieci rzecznej w zależności od litologii, obecność wyraźnych liniowych struktur ograniczających zarówno obszar gór, jak i kotliny, charakterystyczne zróżnicowanie morfologii stoków (mapa spadków) oraz obecność głęboko wciętych przełomów rzecznych (m.in. Zadrna, Bóbr). Współczesny kształt morfologii terenu badań jest w głównej mierze uwarunkowany budową geologiczną podłoża, w tym czynnikami tektonicznymi. Kwestią wymagającą dalszych prac studialnych i interpretacyjnych jest zagadnienie, czy obserwowany obraz morfologiczny jest efektem wypiętrzenia jednego sztywnego bloku („wypiętrzenie *en bloc*”), czy też zróżnicowanych przemieszczeń pionowych szeregu mniejszych bloków. Wyjaśnienia wymaga także kinematyka tych ruchów, a określenia ich tempo oraz wiek.

W celu identyfikacji struktur liniowych obszaru badań wykonano mapę zagęszczonych poziomic, w oparciu o którą sporządzono mapę rozmieszczenia morfolineamentów manifestujących się w rzeźbie terenu (por. Migoń 1996, Badura, Przybylski 1999). W dalszym etapie przeprowadzono analizę statystyczną orientacji ważniejszych lineamentów o długości przekraczającej 500 m w celu zminimalizowania wpływu mniej wyraźnych struktur. Dokonana para-



**Ryc. 2.** Diagramy rozetowe orientacji morfolineamentów (parametr azymut-długość, całkowita długość=609 km), spękań (azymut upadu-kąt upadu,  $n > 45^\circ$ ) oraz uskoków (parametr azymut-długość, dane kartograficzne na podstawie SMGS, całkowita długość=190 km)

metryzacja struktur liniowych pozwoliła na wyznaczenie rozetowych diagramów orientacji w odniesieniu do długości morfolineamentów. Przeanalizowano również cechy geometryczne orientacji nieciągłości dysjunktywnych w oparciu o zdigitalizowane obrazy kartograficzne uskoków zamieszczonych na Szczegółowej Mapie Geologicznej Sudetów w skali 1:25 000. W oparciu o uzyskane dane wykonano diagram rozetowy orientacji uskoków w zależności od ich rzeczywistej długości. W ramach prac terenowych dokonano pomiarów orientacji spękań dla kilkudziesięciu stanowisk zlokalizowanych w obrębie różnych litologii, na których podstawie wykonano diagramy rozetowe spękań.

Analiza porównawcza wyznaczonych struktur liniowych (ryc. 2) wskazuje na silną wzajemną korelację kierunków ich orientacji. Dominujący sektor NW-SE, który odpowiada tzw. kierunkowi sudeckiemu wiążanemu z najmłodszą fazą ruchów tektonicznych, wskazuje, że czynniki neotektoniczne odegrały znaczącą rolę w ukształtowaniu obecnego reliefu. Podobne zależności są relacjonowane również dla innych rejonów Sudetów (por. Štěpančíková i in. 2008). Analiza mapy spadków wskazuje, że na obszarze badań największymi gradientami wysokości charakteryzują się strefy występowania grzbietów górskimi oraz dolin rzecznyymi. Zauważalny jest również wpływ litologii na uzyskiwane wartości spadku stoku. Najbardziej czytelny obraz dają w tym przypadku permskie skały wulkaniczne (porfiry, trachity) Gór Kruczych, staropaleozoiczne zieleńce Gór Kaczawskich, permskie porfiry masywu Chełmczyka (766 m) oraz punktowo skały metamorficzne okrywy Karkonoszy. Różnice wysokości między kulminacją Rudaw Janowickich a obramowującą je od zachodu Kotliną Jeleniogórską przekraczają 500 m. W przypadku położonej na zachód Kotliny Kamiennogórskiej wartość ta waha się w przedziale 300–400 m. W odniesieniu do stromo wciętych dolin rzecznych największe różnice wysokości obserwuje się w odcinkach

przełomowych Bobru i Zadrnej, mniejsze dla dolin Świdnika, Żywicy, Janówki i Jawiszówki. W strefie występowania zlepieńców karbońskich głębokość rozcięcia w rejonie Bukówki oraz Błażkowa przekracza 100 m. Przełom Bobru w Janowicach Wielkich, wykorzystujący tektoniczną strefę uskoku śródsudeckiego oddzielającego Rudawy Janowickie od Gór Kaczawskich, reprezentuje również rejon o znacznym gradiencie wysokości.

## Podsumowanie

Badany obszar reprezentuje układ pozostający w zależności grzbiet górski-basen sedymentacyjny. Przy obserwowanym dużym zróżnicowaniu litologicznym skał podłoża nie można wykluczyć roli czynnika odpornościowego w ukształtowaniu się współczesnego reliefu. Stwierdzona wyraźna korelacja w rozkładzie przestrzennym morfolineamentów i uskoków oraz jej związek z układem i cechami morfometrycznymi sieci rzecznej wskazują, że czynniki neotektoniczne mogą stanowić ważną składową ewolucji morfologicznej tego fragmentu Sudetów. Dokładne określenie modelu ewolucji morfologicznej badanego układu wymaga dalszych prac badawczych.

## Literatura

- Aleksandrowski P. 2003. Śródsudecka strefa uskokuwa – przykład przesuwczej granicy ternarów. [W:] W. Ciężkowski, J. Wojewoda, A. Żelaźniewicz (red.), *Sudety Zachodnie: od wendy do czwartorzędu*. WIND, Wrocław, s. 105–118.
- Badura J., Przybylski B. 1999. Examples of young tectonic activity from the Sudetic Foreland, SW Poland – application of condensed contour maps.

- Technika Poszukiwań Geologicznych, Geosynoptyka i Geotermia, 1: 38–45.
- Badura J., Przybylski B. 2005. Application of digital elevation models to geological and geomorphological studies – some examples. *Przeł. Geol.*, 53, 10/2: 977–983.
- Cymerman Z., Mastalerz K. 1994. Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów w skali 1:25 000. Ark. Marciszów. Wyd. Geol., Warszawa.
- DeRose R.C., Gomez B., Marden M., Trustrum N.A. 1998. Gully erosion in Mangatu Forest, New Zealand, estimated from digital elevation models. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23: 1045–1053.
- Don J., Jerzykiewicz T., Teisseyre A.K., Wojciechowska I. 1979. Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów w skali 1:25 000. Ark. Lubawka, Wyd. Geol., Warszawa.
- Jahn A. 1962. Geneza skałek granitowych. *Czas. Geogr.*, 32, 1: 19–44.
- Jordan G. 2003. Morphometric analysis and tectonic interpretation of digital terrain data: a case study. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28: 807.
- Jordan G. 2004. Terrain modeling with GIS for tectonic geomorphology. Numerical methods and applications. *Acta Universitatis Upsaliensis, Comprehensive summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology*, 1031: 1–41.
- Kühni A., Pfiffner O.A. 2001. The relief of the Swiss Alps and adjacent areas and its relation to lithology and structure: topographic analysis from a 250-m DEM. *Geomorphology*, 41: 285–307.
- Lin Z., Oguchi T. 2004. Drainage density, slope angle, and relative basin position in Japanese bare lands from high-resolution DEMs. *Geomorphology*, 63: 159–173.
- Lisiakiewicz S. 1956. Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów w skali 1:25 000. Ark. Uniemiśl. Wyd. Geol., Warszawa.
- Mastalerz K., Awdankiewicz M., Cymerman Z. 1994. Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów w skali 1:25 000. Ark. Kamienna Góra. Wyd. Geol., Warszawa.
- Mazur S. 1995. Strukturalna i metamorficzna ewolucja wschodniej okrywy granitu Karkonoszy w południowej części Rudaw Janowickich i Grzbiecie Lasockim. *Geol. Sudetica*, 29, 1: 31–103.
- Migoń P. 1996. Struktura morfotektoniczna centralnej części Sudetów Zachodnich w świetle mapy zagęszczonych poziomów. *Czasop. Geogr.*, 57, 2: 233–244.
- Migoń P. 1997. Crystalline rock inselbergs in southwestern Poland. Origin and paleoenvironmental significance. *Acta Univ. Wratisl.*, 1872, Stud. Geogr., 56: 1–102.
- Mroczkowski J. 1992. A N-trending photolineament in the Rudawy Janowickie Mts. (West Sudetes, Poland) and its tectonic significance. *Ann. Societatis Geologorum Poloniae*, 62: 63–73.
- Traczyk A. 2004. Wpływ rzeźby na przebieg transgresji lądolodu skandynawskiego w Kotlinie Kamiennogórskiej w Sudetach Środkowych. *Prace Inst. Geografii Akad. Świętokrzyskiej w Kielcach*, 13: 151–168.
- Staffa M. (red.) Mazurski K.R., Czerwiński J., Pisarski G., Potocki J. 1998. Słownik geografii turystycznej Sudetów. T. 5. Rudawy Janowickie. Wyd. I-bis, Wrocław.
- Štěpančíková P., Stemberk J., Vílímek V., Košťák B. 2008. Neotectonic development of drainage networks in the East Sudeten Mountains and monitoring of recent fault displacements (Czech Republic). *Geomorphology* (in press), doi: 10.1016/j.geomorph.2007.06.016.
- Szałamacha J. 1956. Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów w skali 1:25 000, Ark. Janowice Wielkiej. Wyd. Geol., Warszawa.
- Szałamacha J. 1957. Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów w skali 1:25 000, Ark. Kowary, Warszawa, Wyd. Geol., Warszawa.
- Szałamacha J. 1957. Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów w skali 1:25 000. Ark. Szczepanów. Wyd. Geol., Warszawa.
- Szałamacha J., Szałamacha M. 1988. Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów w skali 1:25 000. Ark. Pisarzowice. Wyd. Geol., Warszawa.
- Szałamacha M., Tucholska K. 1957. Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów w skali 1:25 000. Ark. Jelenia Góra Wschód. Wyd. Geol., Warszawa.
- Szałamacha M. 1958. Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów w skali 1:25 000. Ark. Czepiel. Wyd. Geol., Warszawa.
- Wajda W.T., Sobczyk A. 2007. Góry Sokole. Przewodnik wspinaczkowy. *Sudetica Verticalia*, Wrocław.
- Wood J.D. 1996. The geomorphological characterisation of digital elevation models. PhD thesis. University of Leicester, UK.